

Copépodes pélagiques du Plateau Ivoirien. Utilisation de l'analyse des correspondances dans l'étude des variations saisonnières.

par: D. BINET *

M. GABORIT **

M. ROUX ***

R E S U M É

Une série d'analyse factorielle des correspondances, portant sur les effectifs de copépodes planctoniques provenant d'un cycle annuel en plusieurs stations du plateau continental ivoirien a mis en évidence les points suivants:

- Il est possible, pour des populations planctoniques, de définir des "saisons écologiques" correspondant en partie aux saisons hydrologiques.

- Chaque "saison" est marquée par l'abondance d'un groupe d'espèces dont l'abondance maximale se situe à cette période.

- On obtient la même définition des "saisons écologiques", que l'on utilise l'ensemble des espèces présentes ou seulement les plus importantes d'entre elles.

- Les premiers axes principaux d'inertie peuvent être interprétés par la température, la salinité et l'éloignement de la côte.

* Denis BINET - Océanographe Biol. de l'ORSTOM - BP V 18 - ABIDJAN (C.I.)

** Michèle GABORIT - Assist. en Math. - Fac. Sc. Rouen - 76, Mont St. Aignan

*** Maurice ROUX - Attaché de rech. au CNRS - Labo de Stat. Math. - PARIS

S U M M A R Y

Several "analyses factorielles des correspondances" were used with the numerical data of planktonic copepods issued from a one-year sampling programme at different stations of the Ivorian shelf. The main results were the following:

- "Ecological seasons" approximately corresponding to hydrological seasons may be defined for planktonic populations.

- Each "season" is characterized by one group of species, whose maximum abundance occurs in this period.

- The same definition of ecological season is obtained whether all species present are used or whether only the most important ones are used.

- The first principal axes may be interpreted as temperature and salinity or as the station's distance from shore.

INTRODUCTION

a) - Origine du matériel -

De mars 1969 à mars 1970 une série de pêches de plancton a été effectuée dans les eaux ivoiriennes. Le filet utilisé étant du type ICITA (JOSSI, 1966) et les traits étaient tous verticaux, du fond jusqu'en surface.

Les récoltes se divisent en deux séries :

- Trois stations alignées sur une radiale Nord-Sud partant de Grand - Bassam, ont été visitées 14 fois (soit 42 pêches) toutes les 4 semaines. Ces stations numérotées de 1 à 3 de la côte vers le large étaient situées au-dessus des fonds de 30, 50 et 200 m.

- Une station dite "côtière" à 2 milles à l'ouest de Vridi, au-dessus des fonds de 35 m a été visitée 48 fois, soit presque une fois par semaine.

A chaque station 2 traits identiques étaient effectués. Les deux récoltes étaient ensuite mélangées et une fraction aliquote était examinée à la loupe binoculaire.

La numération spécifique portait sur 500 à 2.000 copépodes.

Les effectifs dénombrés ont été rapportés à 1m^3 d'eau de mer.

b) - Analyse des correspondances -

Pour comparer entre elles les récoltes en fonction des espèces contenues, ou les espèces en fonction des récoltes les contenant, nous avons fait appel à l'analyse factorielle des correspondances, déjà utilisée dans ce type de travail (BINET 1969, BINET, DESSIER, GABORIT & ROUX, sous presse).

L'analyse des correspondances, comme l'analyse en composantes principales, est destinée à décrire avec quelques axes principaux un phénomène comprenant de très nombreuses dimensions.

Le tableau initial des données est un tableau d'abondance. On transforme celui-ci en un tableau de fréquences, ce que l'on ne fait pas en analyse en composantes principales et qui est donc propre à l'analyse des correspondances, ceci afin d'homogénéiser les données.

Si $k(i, j)$ est l'abondance de l'espèce i dans la récolte j , le nouveau tableau s'écrit :

$$f(i, j) = \frac{k(i, j)}{\sum_i k(i, j)} \quad : \text{fréquence de l'espèce } i \text{ dans la récolte } j.$$

(On écrit de même $g(i, j) = \frac{k(i, j)}{\sum_j k(i, j)}$ = probabilité d'occurrence de la récolte j sachant que l'espèce i a été pêchée).

Les distances entre fréquences d'espèces (respectivement fréquences de récoltes) sont calculées dans la métrique du χ^2 . On extrait les axes principaux d'inertie de l'ensemble des points fréquences d'espèces i (respectivement points-fréquences de récoltes j). munis des masses $\sum_j f(i, j)$ (respectivement $\sum_i f(i, j)$).

Ces derniers sont issus du centre de gravité (point de l'espace où l'inertie est minimum). Les premiers d'entre eux extraient la plus grande part de l'inertie (ou variance) du système, ce sont les seuls que nous prendrons en considération.

Les deux espaces (récoltes et espèces) sont de dimensions différentes; il y a autant d'axes que de récoltes dans le premier espace, autant d'axes que d'espèces dans le second. Mais les projections dans le même plan des axes factoriels sont superposables. On peut représenter simultanément les projections des espèces et des récoltes dans le plan des axes 1 et 2, par exemple; ce qui est de la plus grande utilité pour l'interprétation.

Les calculs ont été réalisés sur l'ordinateur UNIVAC de la Faculté des Sciences d'Orsay, grâce à l'amabilité des responsables du laboratoire de Taxinomie Végétale Expérimentale et Numérique associé au CNRS.

1 - INERTIE EXTRAITE PAR LES AXES PRINCIPAUX DANS LES DIFFERENTES ANALYSES -

1.1. - Analyses effectuées -

Les ensembles de récoltes correspondant d'une part aux 3 stations de la radiale Bassam, de l'autre à la station côtière ont été traités séparément, puis simultanément.

Dans un premier temps nous avons procédé à une analyse portant

sur l'ensemble des données; puis nous avons supprimé les récoltes de saison froide pour analyser d'une manière plus précise celles de saison chaude; la dernière analyse porte sur les récoltes de la station côtière après suppression des espèces les plus rares (en deux temps : cf 3.1.5.) pour juger leur importance dans la recherche de groupements saisonniers.

Les analyses précédentes ont été faites à partir des effectifs par m^3 . Pour remédier à la grande dispersion des distributions planctoniques nous avons également tenté une analyse sur les logarithmes des effectifs par m^3 , plus exactement sur les quantités $y = \log (x+10^{-4}) - 10^{-4}$ afin d'éviter les effectifs nuls, sans trop modifier les effectifs observés.

1.2. - Intertie extraite par les différents axes -

Chacun des axes principaux extraie une part de l'information totale, ou de l' "inertie" du système (on parlerait de variance dans une analyse en composantes principales). Plus importante est la part d'inertie extraite par les premiers axes et plus rapide leur décroissance pour les axes suivants, meilleure sera la représentation du système multidimensionnel suivant 2, 3 ou 4 axes seulement.

La considération du tableau n° 1 impose plusieurs remarques :

- La plus grande partie de l'inertie de nos données vient de la présence des récoltes de saison froide; ceci est valable dans le cas de la station côtière comme dans celui de la radiale Bassam.
- L'élimination des espèces les moins fréquentes ne diminue que très peu l'inertie totale, les premiers axes extraient à peine davantage d'inertie.
- Le traitement simultané des données de la station côtière et de la radiale Bassam ne paraît pas intéressant :

l'inertie totale, considérable, est beaucoup moins bien expliquée que dans des analyses séparées.

1.3. - Effet de la transformation logarithmique -

La transformation logarithmique, telle qu'elle a été appliquée est inintéressante. L'inertie totale est considérablement diminuée, mais le nuage de points-récoltes ou de points-espèces est tellement condensé que les premiers axes principaux d'inertie ne sont plus capables de résumer une part importante de l'information totale.

Analyse	Pourcentage d'inertie expliquée par chaque axe					Pourcentage cumulé d'inertie expliquée				Inertie totale (1)
	1	2	3	4	5	1-2	1-3	1-4	1-5	
Côtière										
92 sp. SC SF	24,6	18,4	11,4	6,9	5,9	43,0	54,4	61,4	67,3	109
92 sp. SC	29,0	12,5	11,8	8,4	7,2	41,5	53,3	61,6	68,8	38
55 sp. SC SF	25,0	18,7	11,6	7,1	5,9	43,7	55,3	62,4	68,3	107
25 sp. SC SF	27,0	20,3	12,4	7,5	6,3	47,3	59,8	67,2	73,5	95
log 92 sp. SC SF	13,1	10,5	6,2	5,2	5,0	23,7	29,9	35,1	40,1	24
Bassam										
119 sp. SC SF	29,3	12,1	9,0	6,5	5,9	41,4	50,4	56,9	62,8	67
119 sp. SC 1	19,9	13,0	10,5	9,0	6,1	33,0	43,5	52,4	58,6	30
119 sp. SC 2	25,6	14,4	12,0	8,8	7,0	40,0	51,9	60,7	67,7	23
Bassam + Côtière										
SC SF	22,8	14,5	8,0	5,9	5,3	37,2	45,3	51,1	56,5	205

Tableau n° 1 : Inertie totale de chaque analyse, pourcentage d'inertie expliquée par les axes 1 à 5 et pourcentage cumulé d'inertie. (sp : espèce, log : transformation logarithmique, SF : saison froide, SC : saisons chaudes, SC 1 et SC 2 voir 2.4.).

(1) les valeurs indiquées sont à multiplier par 10^3

Quelques remarques néanmoins sur cette analyse (station côtière, 92 espèces, SC + SF) : la projection de l'espace-récolte dans le plan des axes 1 et 2 permet de séparer de l'ensemble des récoltes, celles de saison froide (sur l'axe 1). Le deuxième axe scinde la saison froide entre récoltes du début de saison (18 juin à fin juillet) et récoltes de milieu et fin de saison (début août au 21 octobre).

La récolte 17 (9 juillet) est très éloignée du reste des récoltes de début de saison froide. On observe la même particularité avec des analyses en composantes principales avec ou sans transformation logarithmique (non publié). La superposition des graphes "récoltes" et "espèces" de l'analyse des correspondances explique cette originalité. La position de la récolte correspond à celle de 3 espèces rares : Scolecithricella tenuiserrata, S. dentata et Lucicutia gemina, vivant habituellement plus au large et qui n'ont été recueillies à la station côtière que dans cette seule récolte. Leur pourcentage parmi les autres espèces est égal à 0,08 %. L'isolement de la récolte 17 dans cette représentation paraît donc disproportionné.

La transformation logarithmique, souvent utilisée pour "normaliser" ce type de données, est donc tout à fait nuisible avant une analyse des correspondances, sur notre exemple.

2 - RADIALE BASSAM, ESPACE-RECOLTES

Nous étudierons en premier lieu les résultats de l'analyse portant sur l'ensemble de l'année. On s'est efforcé de réunir sous une même enveloppe les points-récoltes d'une même saison hydrologique, et ce, dans les plans formés par les axes (1,2), (1,3), et (2,3) qui représentent à eux 3 50,4% de l'inertie totale. En réalité les dénominations adoptées débordent légèrement les saisons telles que MORLIERE (1970) les a définies.

2.1. - Groupement des récoltes dans les plans formés par les axes 1, 2, 3 (fig. 1 et 2) -

A) - La grande saison froide est bien individualisée du côté négatif de l'axe 1. On l'observe dans les plans (1,2) et (1,3) mais elle éclate dans le plan (2,3).

Les observations 6, 7, 8 (station 1), 20, 21, 22 (station 2) et 34, 35, 36 (station 3) de fin juillet à fin septembre correspondent à des eaux

froides et salées. Les températures à 10 m ⁽¹⁾ varient de 18,4 à 22,7°C et les salinités de 35,26 à 35,86‰.

Les autres groupements de récoltes se retrouvent dans les 3 plans.

B) - La fin de la petite saison froide 1969 (récoltes 1, 15, 29 du 13 mars, aux 3 stations) et la fin de la grande saison froide (récoltes 9, 23, 37 du 23 octobre) forment un ensemble situé du côté négatif de l'axe 2. On note une légère opposition entre les récoltes 1, 9, 15 plus côtières et 23, 29, 37 plus océaniques.

C) - Les récoltes 12, 13, 14 et 26, 27 de janvier à mars 1970 constituent un groupe de petite saison froide néritique. En fait l'ensemble de ces récoltes déborde très largement la petite saison froide mais se situe entre petite et grande saisons chaudes.

D) - La petite saison chaude néritique correspond au groupe des récoltes 3, 10, 11, 24, 25 de novembre et décembre aux stations 1 et 2 et de mai à la station 1.

E) - On peut en distinguer quelques récoltes de grande saison chaude néritique (4, 16, 17, 18) : avril, mai et juin auxquelles se rattache plus ou moins la récolte 28 de mars 1970.

La distinction entre ces deux derniers groupes, dictée par l'hydrologie se justifie par les cotes des points récoltes sur l'axe 2 : négatives pour le groupe des petites saisons chaudes, positives pour celui de grande saison chaude.

F) - Les deux petites saisons aux accores (novembre à février récoltes 38, 39, 40, 41 de la station 3) ne peuvent être séparées en petite saison chaude et petite saison froide, mais la température et la salinité des eaux sont nettement inférieures à celles de grande saison chaude.

G) - Enfin la grande saison chaude aux accores rassemble les récoltes 30, 31, 32, et 42 d'avril, mai, juin 1969 et de mars 1970.

Un certain nombre de récoltes ne sont pas incluses dans les ensembles cités, ou si elles le sont c'est dans une position légèrement anormale. L'examen des projections de l'espace-espèces sur les mêmes plans permet d'interpréter ces anomalies par des effectifs particulièrement élevés d'espèces habituellement rares.

(1) toutes les références hydrologiques sont prises à 10m

Récolte	Espèce influençant excessivement la position de la récolte
2	Acrocalanus longicornis
15	Rhincalanus cornutus
19	Acrocalanus longicornis
33	Euchaeta acuta
34	Scolecithricella ovata et Phaenna spinifera

2.2. - Contributions -

On appelle "contribution absolue" de l'espèce i par rapport à un axe, le moment d'inertie de l'espèce i par rapport à l'espace orthogonal à cet axe, soit le produit de la masse de ce point par le carré de la distance à l'espace orthogonal à cet axe (soit : masse \times carré de la coordonnée du point i sur l'axe).

On appelle "contribution relative" de l'espèce i à un axe, le quotient de la contribution absolue de cette espèce à l'axe et de la contribution totale de cette espèce; la contribution totale de l'espèce i étant l'inertie de cette espèce par rapport au centre de gravité, ou encore sa variance. La contribution relative de l'espèce i à un axe est égale au \cos^2 de l'angle formé par la droite joignant le centre de gravité au point i avec l'axe considéré.

Plus grande sera la "contribution absolue" d'un point, plus importante sera sa part dans la détermination d'un axe. Plus élevée sera la "contribution relative" d'un point par un axe, meilleure sera sa représentation sur l'axe.

Nous disposons donc des contributions par récoltes et par espèces, pour chacun des premiers axes principaux. L'interprétation des contributions par récolte étant plus simple, c'est surtout à elle que nous ferons appel.

Dans l'ordre d'importance décroissante, les 10 récoltes suivantes sont celles qui ont les plus fortes contributions totales (total des contributions sur chaque axe) : ce sont donc elles qui ont la plus grande influence sur l'ensemble de l'analyse : 8, 7, 2, 11, 22, 9, 15, 35, 19, 28.

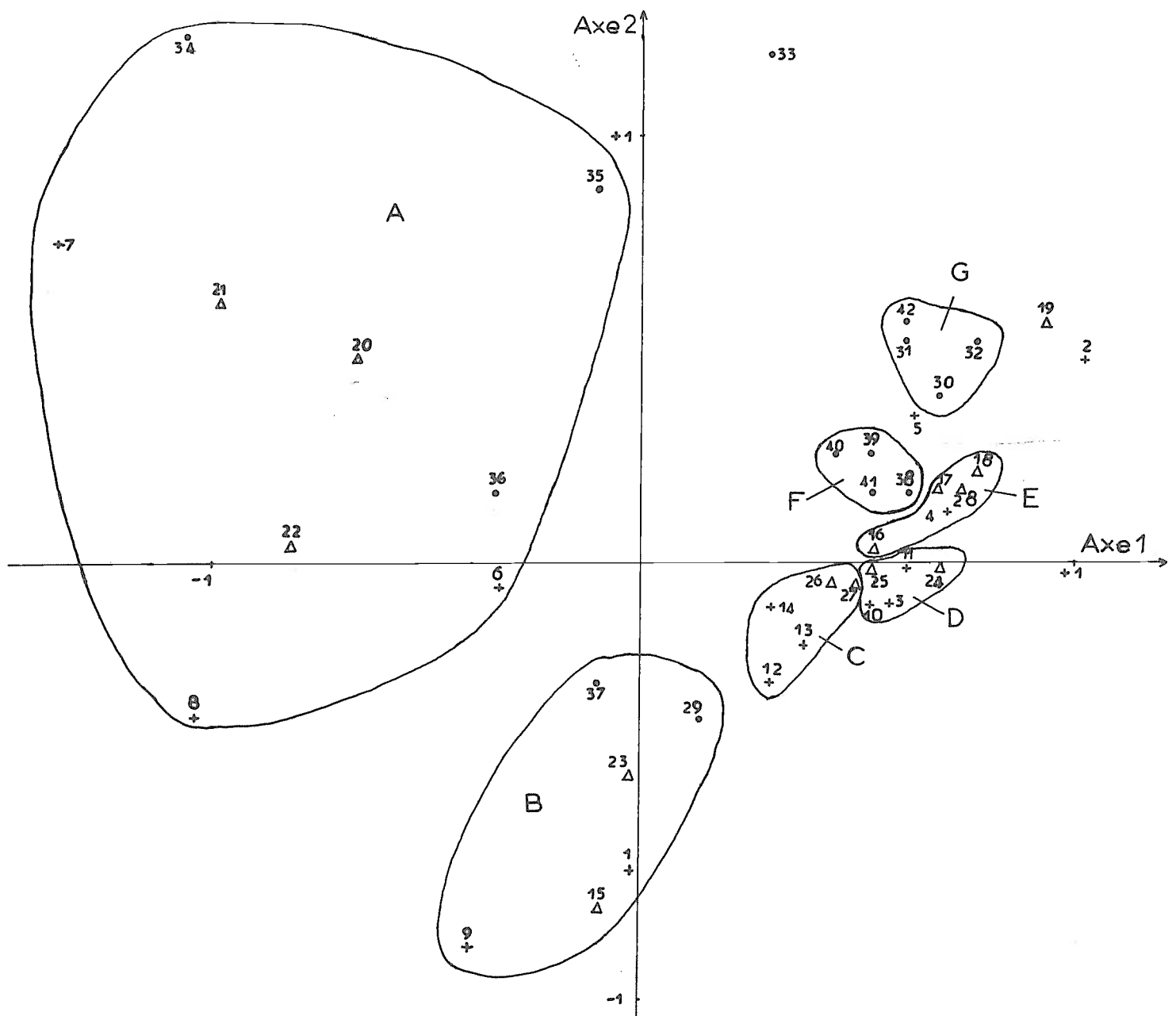


Fig. 1 - Radiale Bassam : espace - récoltes, plan (1,2)

Station 1 : +

Station 2 : Δ

Station 3 : •

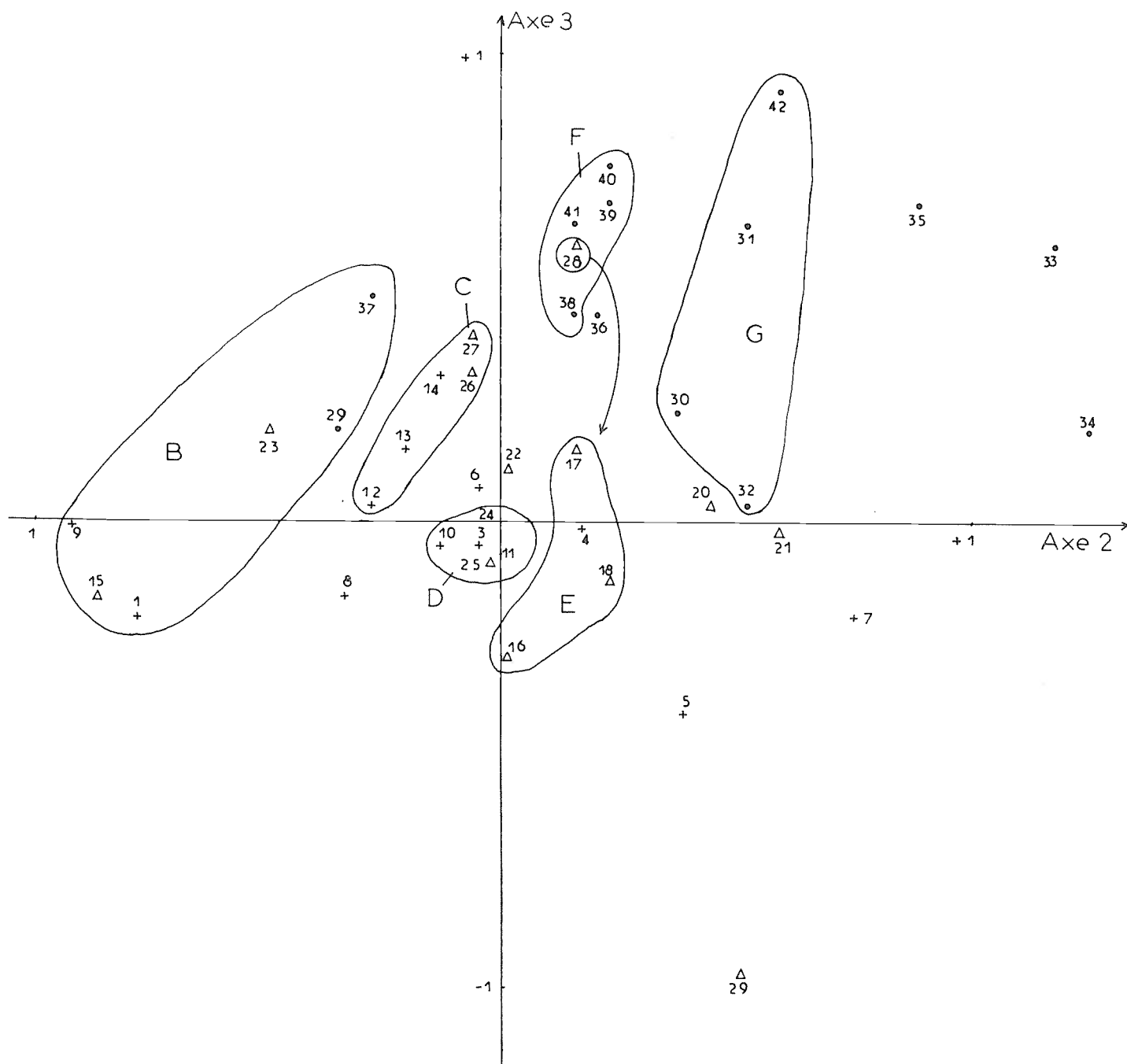


Fig. 2 - Radiale Bassam : espace - récoltes, plan (2, 3)

Station 1 : +

Station 2 : Δ

Station 3 : •

Cinq des six premières viennent de la station 1 (les deux premières venant de saison froide). On dénombre ensuite 4 récoltes de la station 2 (22, 15, 19, 28) et une seule de la station 3 (35).

Les populations planctoniques du talus continental (station 3) se rattachent de très près aux populations hauturières, peu soumises aux variations saisonnières (BINET & DESSIER 1971 :). Dans l'analyse précédente la station 3 joue le rôle d'une référence à laquelle sont comparées les variations du plateau continental. Les plus importantes de ces variations ont lieu en zone côtière, d'où le rôle indicateur de la station 1.

2.3. - Signification des axes -

Nous utiliserons, pour interpréter les premiers axes, les graphiques de projection de l'espace récoltes et les contributions. Les axes ne sont pas corrélés entre eux mais les gradients que nous pouvons interpréter (chaud-froid, côte-océan...) ne correspondent pas exactement aux axes principaux et se projettent donc sur plusieurs axes.

Voici, pour chaque axe, les récoltes ayant les plus fortes contributions par ordre décroissant :

Axe	Contribution absolue	Contribution relative
1	8, 7, 22, 21, 2	7, 8, 21, 22, 18
2	15, 9, 7, 34	15, 34, 9, 23
3	2, 19, 28, 42	2, 40, 19, 42
4	6, 11, 14, 8	6, 14

1) - L'axe 1 est nettement un axe thermique, croissant dans le même sens que les températures. Il isole la grande saison froide (aux 3 stations) du reste de l'année.

Ce sont les récoltes de saison froide de la station 1 d'abord, puis 2 qui ont les plus fortes contributions totales et qui sont aussi

les mieux représentées. C'est en effet à ces stations que les changements de population accompagnant la saison froide, sont les plus importants.

2) - L'axe 2 paraît lié à un gradient côte-océan, si l'on s'en tient aux graphiques des projections. En effet en saison froide les récoltes aux 3 stations visitées le même jour (6, 20, 34 - 7, 21, 35, - 8, 22, 36 - 9, 23, 37) s'alignent plus ou moins sur des parallèles à l'axe 2, la station 1 ayant toujours la cote la plus faible, la station 3 la cote la plus élevée. On observe en saisons chaudes le même genre de disposition, bien que cela soit un peu moins net.

L'examen des contributions ne confirme que partiellement cette interprétation, les récoltes 15 et 34 étant très influencées par des effets anormaux de certaines espèces (cf ci-dessus).

En réalité, l'axe 2 exprimerait plutôt un gradient nérétique, fin de saison froide vers océanique - pleine saison froide.

3) - Le long de l'axe 3 on retrouve en partie la projection d'un gradient côte-océan, mais essentiellement parmi les récoltes des saisons chaudes. Il semble qu'en réalité le gradient côte-océan passe dans un plan bissecteur des axes 2 et 3.

Les contributions montrent l'importance pour l'axe 3 des récoltes de la saison chaude 1969 aux stations 1 et 2 et de celles de mars 1970 aux stations 2 et 3. L'axe 3 pourrait aussi traduire l'évolution annuelle des populations entre les saisons chaudes 1969 et 1970.

4) - La signification de l'axe 4 n'apparaît pas. Remarquons néanmoins que les récoltes de la station 1 y ont encore le plus d'importance.

2.4. - Récoltes de saisons chaudes -

Deux analyses supplémentaires ont été effectuées en supprimant les récoltes de grande saison froide (groupe A) en un premier temps, puis dans un deuxième temps (1) en supprimant en outre les récoltes d'octobre (une partie de B) et celles de la petite saison froide aux stations 1 et 2 (groupe C).

D'une manière générale nous retrouvons les mêmes groupes de récoltes. Les récoltes de (B), ou ce qu'il en reste sont nettement

(1) La première analyse est indiquée dans le tableau 1 par SC 1, la seconde par SC 2.

séparées des autres. Ce qui prouve que malgré les températures et salinités élevées du mois de mars, le plancton est encore marqué par la petite saison froide.

L'axe 1 est encore un axe thermique, le gradient côte-océan se retrouve dans une combinaison des axes 2 et 3.

3 - STATION COTIERE, ESPACE-RECOLTES

Notre démarche sera la même qu'avec les échantillons de la radiale Bassam.

3.1. - Analyse de l'ensemble des récoltes -

Les résultats suivants ont été obtenus en traitant l'ensemble des espèces, nous verrons qu'ils diffèreraient peu avec les espèces principales seulement.

3.1.1. Groupeement des récoltes dans les plans formés par les axes 1, 2 et 3 (fig. 3, 4) -

A) La grande saison froide est bien individualisée, dans les 3 plans, par rapport au reste de l'année. Elle éclate en 3 groupements correspondants à une évolution hydrologique, au cours du temps.

A1) Du 15 juin au 10 juillet c'est la mise en place de la saison froide (récoltes 14 à 17); période de transition entre la grande saison chaude et la grande saison froide. Les eaux se refroidissent de 25, 5°C à 23, 6°C ; la salinité diminue considérablement (maximum de la saison des pluies) puis augmente du fait des upwellings elle varie entre 31,01 et 34,06‰.

A2) Du 15 juillet au 20 août c'est la première partie de la saison froide (récoltes 18 à 22). Le refroidissement s'accroît (de 21, 0°C à 17, 5°C) et la salinité augmente (de 34, 64‰ à 35, 72‰.) Les eaux d'upwelling enhahissent complètement la région.

A3) Du 1er septembre au 15 octobre c'est la deuxième partie de la saison froide (récoltes 23 à 28). La tendance est au réchauffement (de 18, 6 à 21, 6°C), la salinité diminue légèrement de 35, 83 à 35, 23‰.

B) Les petites saisons froide et chaude et quelques récoltes de saisons intermédiaires correspondent à un ensemble qu'on peut scinder en deux parties :

B 1 - correspond aux récoltes 1, 3, 11, 29, 30, 31, 32, 36, 38, 39 ayant le plus d'affinités avec la faune froide tandis que

B 2 - regroupe des prélèvements d'eaux un peu plus chaudes.

Les moyennes des températures sont respectivement de 25,41 et 27,01°C, celles des salinités de 34,99 et 34,81‰.

Néanmoins les conditions hydrologiques du moment même de la récolte ne reflètent qu'imparfaitement ces préférences. Les mélanges sont fréquents dans ces périodes d'intersaison et les caractères hydrologiques de la semaine ou de la quinzaine précédant la récolte sont souvent plus caractéristiques que ceux du jour même de la pêche.

C) - Un certain nombre de récoltes, bien que prises en saison chaude ne correspondent pas à des eaux très "typées". Elle peuvent se grouper en deux sous-ensembles

C 1 : récoltes 9, 12, 37, 44, 46

C 2 : récoltes 5, 8, 13, 42, 45

D) - Les dernières récoltes de saison chaude (6, 7, 10, 40, 41, 47, 48) forment un ensemble plus ou moins bien délimité, sur le graphique mais correspondant à des eaux tropicales (24,9 à 29,5°C et 34,55 à 35,42‰).

3.1.2. - Grouperment de récoltes dans le plan formé par les axes 3 et 4 -

On ne retrouve dans ce plan que 2 des ensembles cités, tous deux ont des cotes négatives sur l'axe 4 : le groupe A1, d'établissement de la saison froide, remarquable par ses faibles salinités et le groupe A3, seconde partie de la saison froide, pour lequel on a remarqué l'homogénéité des conditions hydrologiques à 10 m.

En résumé, la densité des récoltes au cours de l'année semble avoir été suffisante pour éviter la distorsion qu'entraînerait la présence dans une récolte d'espèces peu fréquentes en proportion anormale.

On retrouve bien les grandes saisons hydrologiques, les variations de composition du zooplancton reflètent bien l'évolution des masses

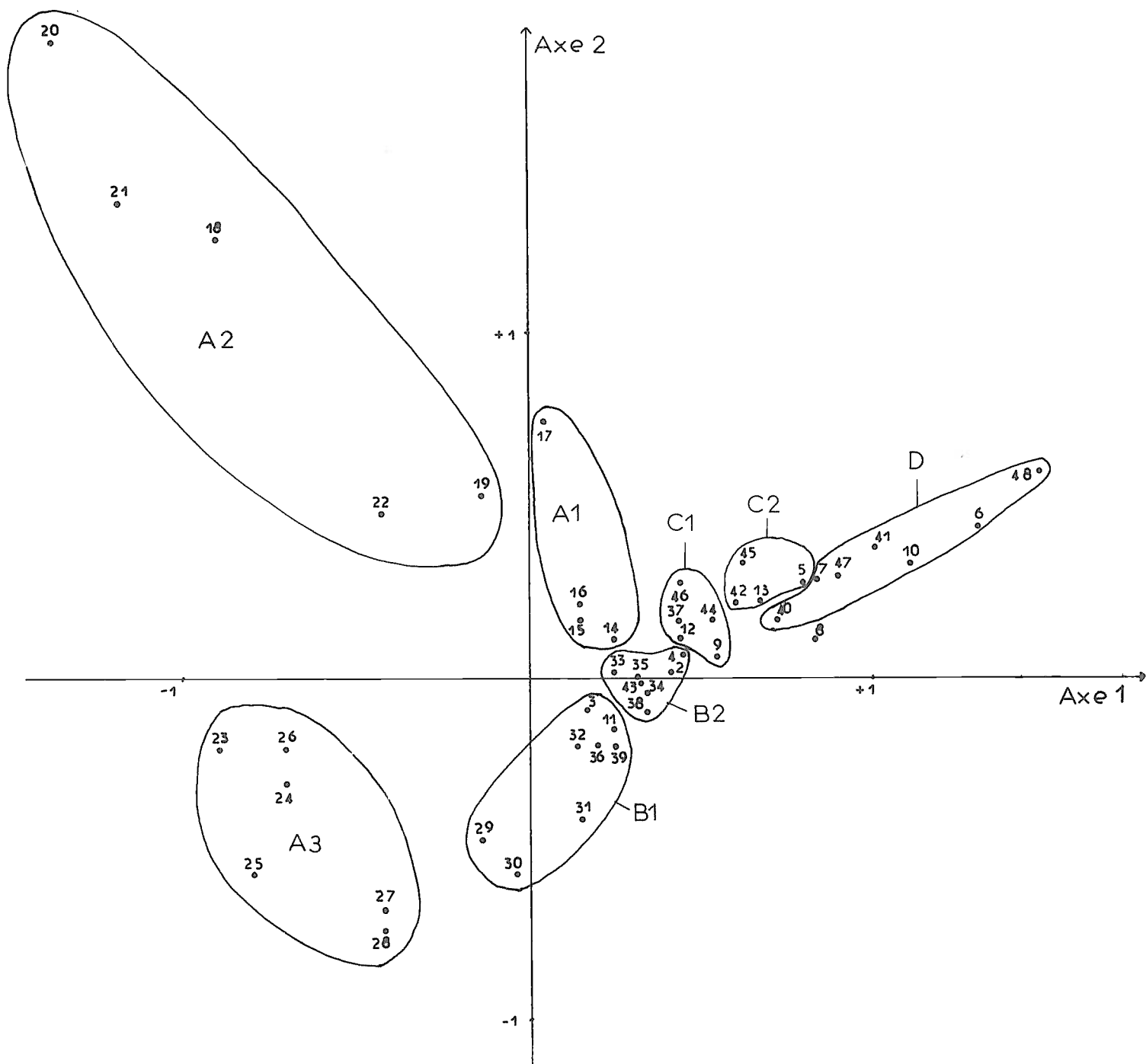


Fig. 3 - Station côtière : espace - récoltes, plan (1,2)

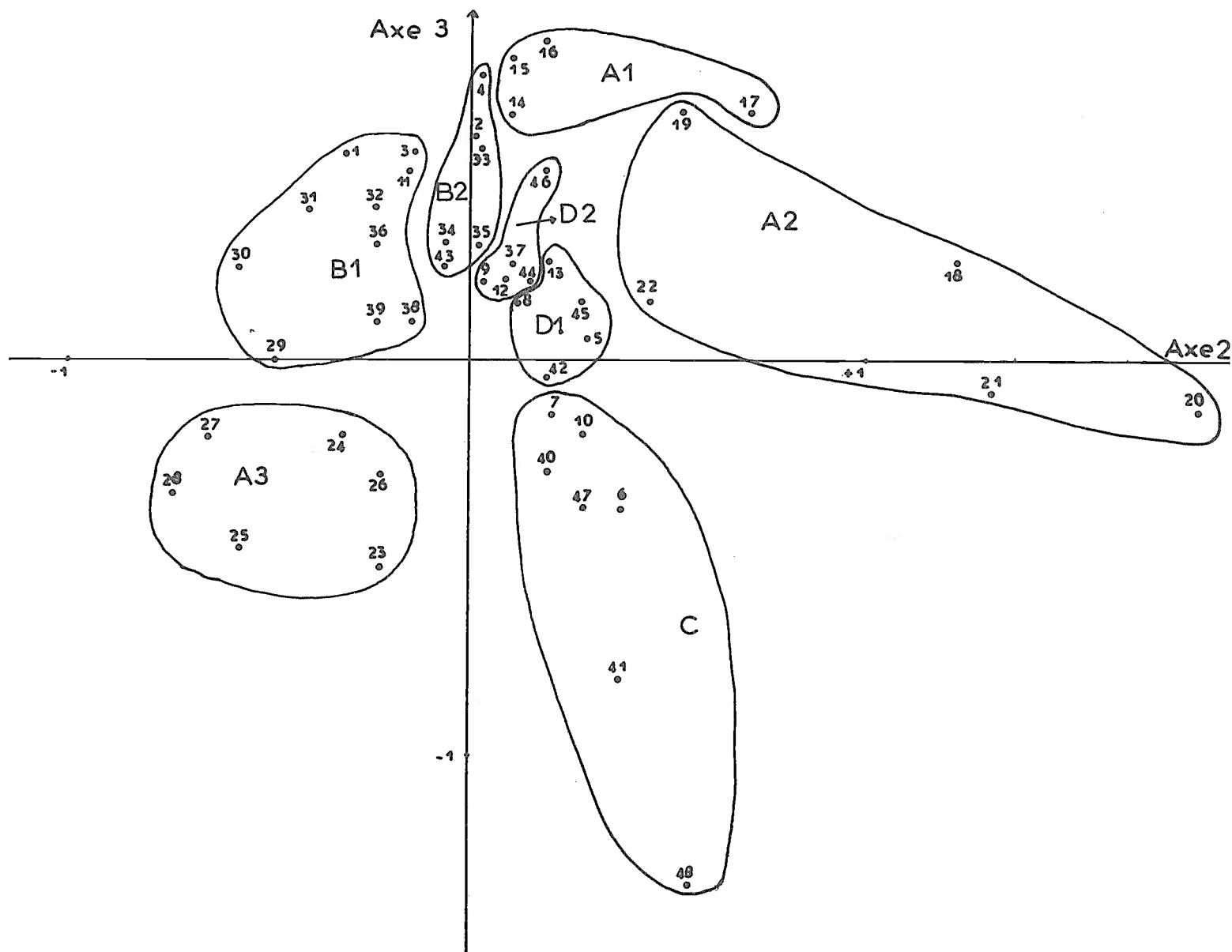


Fig. 4 - Station côtière : espace - récoltes, plan (2,3)

d'eau. L'originalité de la saison froide par rapport au reste de l'année fait que les récoltes hivernales se détachent nettement des autres, qui restent plus ou moins amassées en paquet.

Remarquons que si l'on parcourt les plans (1,2) dans le sens trigonométrique on trouve les groupes de récoltes disposés dans l'ordre chronologique.

3.1.3. - Contributions totales -

Voici par ordre de contribution totales les 9 récoltes "contribuant" le plus à l'analyse : 48,21,20,26,28,41,18,25,30.

Nous retrouvons évidemment des récoltes de saison froide (6). Mais le prélèvement 48 a la première place, ce qui est légèrement surprenant, puisqu'il ne se situe qu'au début de la saison chaude. En réalité la faune de cette récolte est très caractéristique de la grande saison chaude.

3.1.4. - Signification des axes -

Par ordre d'importance décroissante, voici les récoltes ayant les plus fortes contributions sur les premiers axes :

Axes	Contribution absolue	Contribution relative
1	48,26,21,20,41	26,23,48
2	20,21,18,28	20,18,21,27,28
3	48,41	48,15,33,3,16
4	16,1,31	15,16,14,31

1° - Le premier axe est encore nettement lié à la température, il croît avec celle-ci. Du côté négatif se trouvent la première et la seconde partie de la saison froide (eaux de température $< 22^{\circ}\text{C}$ et $S\% > 35\%$), du côté positif - mais près de l'origine - se situent l'établissement de la saison froide et l'ensemble des petites saisons chaude et froide. Les récoltes de saison chaude se trouvent à l'extrémité positive de l'axe 1.

L'isotherme 22°C à 10m correspond à une abscisse nulle sur l'axe 1, toutes les récoltes situées à gauche viennent d'eaux plus froides, toutes les récoltes situées à droite viennent d'eaux plus chaudes.

La température n'explique pas entièrement cet axe; la récolte 48 dont la contribution est la plus importante ne provient pas des eaux les plus chaudes.

Notons qu'aux salinités moyennes ou basses correspondent des coordonnées faiblement positives, les échantillons provenant d'eaux froides et salées ou chaudes et salées se retrouvent aux 2 extrémités de l'axe 1. L'axe 1 traduit donc une évolution des eaux froides et salées vers les eaux chaudes et salées en passant par des eaux de température moyenne et de salinité variable.

2° - Le deuxième axe est lié à la température mais de façon indirecte: l'établissement et la première partie de la saison froide sont situées du côté positif, tandis que la deuxième partie de la saison froide et la petite saison chaude ont des cotes négatives.

Le deuxième axe reflète donc un gradient chronologique de température : réchauffement du côté négatif et refroidissement du côté positif.

3° - On note à l'extrémité positive de l'axe 3, l'ensemble des récoltes d'eaux froides mais dessalées, à l'extrémité négative les récoltes provenant d'un milieu chaud et salé. La signification de l'axe 3 pourrait être : des eaux froides et dessalées vers les eaux chaudes et salées.

4° - Une partie de l'information traduite par l'axe 4 est liée au groupe d'eaux froides et dessalées, mais il ne semble pas que l'on puisse approfondir davantage l'explication.

3.1.5. - Analyse des espèces principales -

Les remarques précédentes proviennent de l'analyse comprenant les 92 espèces observées à la station côtière. Par la suite les moins fréquentes ont été éliminées en deux temps.

Le critère présidant à cette élimination a été la contribution à l'information totale d'une récolte (ou indice de diversité de Shannon).

$$I = \sum_i p_i \log_2 \frac{1}{p_i} \text{ bits/individu.}$$

p_i étant la probabilité, ou la fréquence de l'espèce i dans la récolte; la somme est étendue à l'ensemble des espèces.

La diversité d'une récolte variant de 2,25 à 4,25 bits/individu on a admis une diversité moyenne de 3,0 bits/individu .

On a supprimé en un premier temps toutes les espèces n'apportant jamais plus de 1 % d'information moyenne, puis dans un second temps les espèces n'apportant jamais plus de 5 % d'information moyenne.

- 1% de cette diversité est représenté par un pourcentage p_i de 0,4%. On ne conserve donc que les espèces ayant, au moins dans une récolte, une fréquence supérieure ou égale à 0,4%.

- 5% de cette diversité sont représentés par un pourcentage p_i de 3%, toutes les espèces n'ayant jamais de fréquence supérieure ou égale à 3% sont éliminées.

La seconde analyse ne conservant que les 55 espèces dont le pourcentage est au moins une fois supérieur à 0,4% conduit aux mêmes conclusions. La disposition des récoltes le long des 5 premiers axes est presque exactement la même. On n'observe que quelques différences en ce qui concerne les contributions relatives. La troisième analyse ne gardant plus que les 25 espèces dont le pourcentage atteint au moins une fois 3% conduit à peu près aux mêmes remarques. Notons le nombre réduit d'espèces dont l'effectif contribue d'une manière importante à l'inertie totale. La position des axes principaux demeurant pratiquement fixe d'une analyse à l'autre, les contributions restent sensiblement constantes. Les espèces dont les masses sont les plus importantes sont celles dont le pourcentage dans les différentes récoltes sont les plus élevées. En effet parmi les 25 espèces ayant les plus fortes contributions, nous retrouvons 23 des 25 espèces ayant un pourcentage au moins égal à 3%. Et parmi les 55 espèces ayant les plus fortes contributions nous retrouvons 54 des 55 espèces ayant un pourcentage supérieur à 0,4%.

En moyenne, toutes les espèces sont aussi distantes des axes, aucun axe n'exprime entièrement une espèce et la comparaison des contributions se ramène à la comparaison des masses.

3.2. - Analyse des récoltes de saison chaude -

Comme pour la radiale Bassam nous avons procédé à une analyse après élimination des récoltes de saison froide (de 14 à 28) qui risquaient de masquer l'interprétation des saisons chaudes.

On obtient dans le plan des axes 1 et 2 (fig. 5), les groupements définis ci-dessus : B1, B2, D1, D2 et C, dans cet ordre. L'élimination de la saison froide a supprimé certaines distorsions de ces groupes. L'axe 1 est très lié à la température.

Dans le plan des axes 3 et 4 les récoltes faites au cours de la grande saison chaude (4 à 10, du 1er avril au 12 mai, eaux supérieures à 29,0°C à 10m) se détachent nettement des autres, du côté positif de l'axe 3 et en général aussi sur l'axe 4.

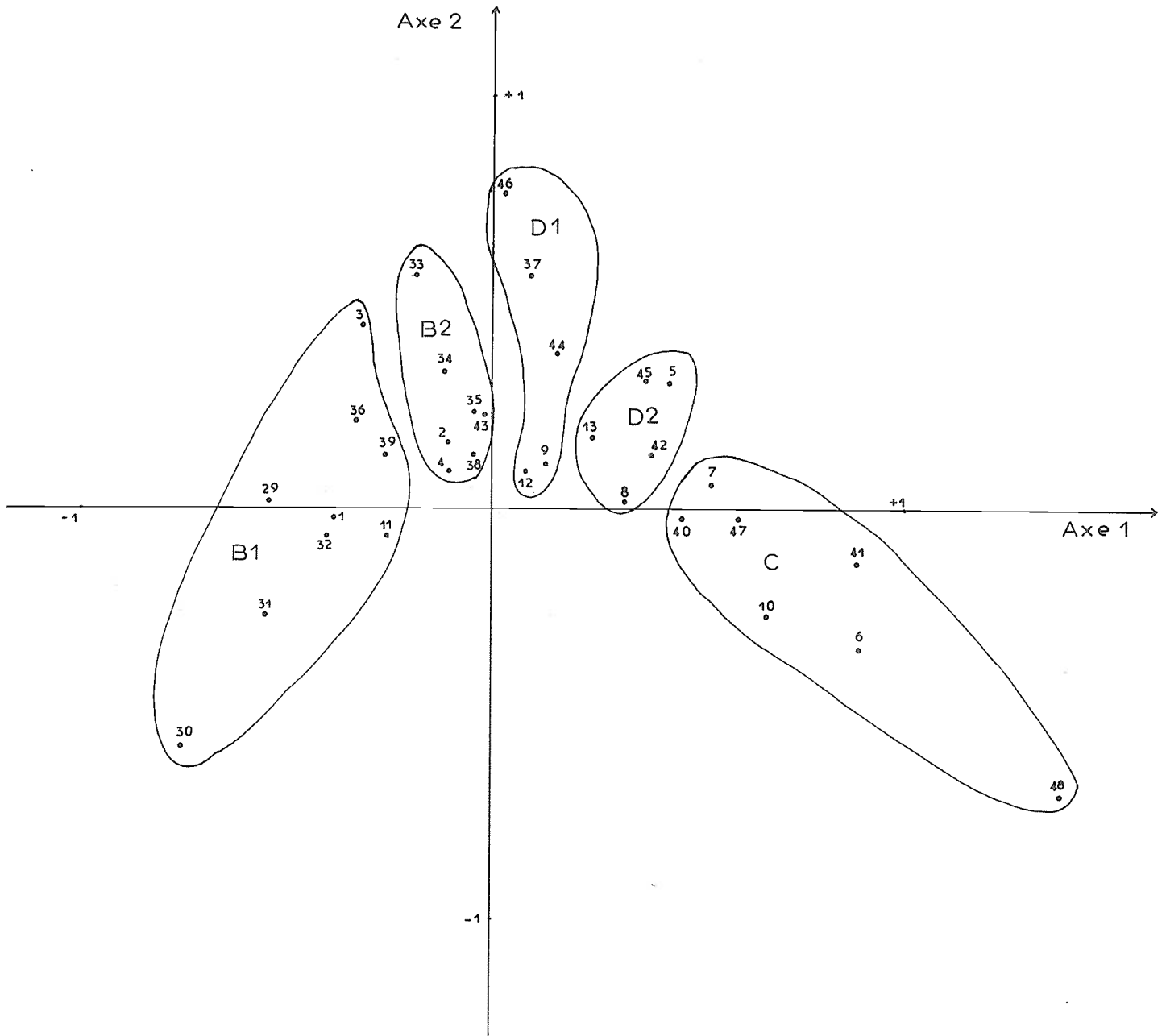


Fig. 5 - Station côtière, saison chaudes : espace - récoltes, plan (1,2)

3 - STATION COTIERE, ESPACE - ESPECES

Que l'on considère l'ensemble des 92 espèces, les 55 espèces de $p_i > 0,4\%$; ou les 25 espèces de $p_i > 3\%$, les résultats varient relativement peu, qu'il s'agisse de la répartition des récoltes ou des espèces dans les plans des premiers axes principaux. C'est en effet une propriété de l'analyse de correspondances lorsqu'elle porte sur un ensemble homogène.

La recherche des associations d'espèces est plus délicate sur l'ensemble des espèces présentes. Un certain nombre d'entre elles font partie d'un groupement dans le plan des axes 1 et 2 et non plus dans celui des axes 2 et 3. Ce sont toujours des espèces rares. Leur élimination permet de délimiter des groupes plus tranchés.

Notons cependant que si les espèces rares avaient été capturées de manière purement fortuite, elles auraient caractérisé les récoltes dont elles proviendraient et ceci se verrait sur les graphiques; alors qu'ici on obtient les mêmes résultats en conservant toutes les espèces ou en n'analysant que les plus fréquentes.

Partant des ensemble de : récoltes (cf ci-dessus) nous avons recherché pour l'analyse des espèces ayant au moins un pourcentage supérieur à 0,4%, quels étaient les ensembles d'espèces correspondants. On distingue 6 ensembles-espèces correspondant aux "saisons écologiques" déterminées (fig. 6). Les espèces les plus rares ont ensuite été ajoutées à l'ensemble auquel elles correspondaient.

Quelques espèces situées à l'intérieur d'une enveloppe dans un des plans 1-2 ou 2-3 n'en font pas partie dans l'autre plan. Ce sont: *

pour l'ensemble 3 l'espèce Rhincalanus cornutus

pour l'ensemble 4 l'espèce Scolecithrix danae

pour l'ensemble 5 l'espèce + Paracalanus parvus⁽¹⁵⁾ et Clausocalanus mastigophorus

pour l'ensemble 6 l'espèce Scolecithricella marquesae

En outre quelques espèces ne trouvent place dans aucun ensemble, lorsque l'on prend en considération les plans 1-2 et 2-3. Ce sont, avec une préférence pour la saison chaude: Eucalanus attenuatus, avec une préférence pour les eaux froides + Lucicutia clausi (64), - Oncaea mediterranea f. major (96), - Oithona setigera (88), - Euterpina acutifrons (91), dans une position intermédiaire : Eucalanus subtenius.

Ces ensembles-espèces sont les suivants : ‡

1° - Ensemble-espèce correspondant à la mise en place de la saison froide (A1) . (l'ordre dans lequel sont citées les espèces correspondant à des coordonnées croissantes sur l'axe 2 et croissantes sur l'axe 1) :

+	<i>Pseudodiaptomus serricaudatus</i>	(55)
	<i>Oithona robusta</i>	
	<i>Scolecithrix bradyi</i>	
+	<i>Euchaeta paraconcinna</i>	(31)
	<i>Agetus flaccus</i>	
-	<i>Scolecithricella ctenopus</i>	(41)
-	<i>Euchaeta hebes</i>	(33)
	<i>Urocorycaeus furcifer</i>	
	<i>Temoropia mayumbaensis</i>	
	<i>Haloptilus longicornis</i>	
-	<i>Pleuromamma gracilis</i>	(59)
	<i>Scolecithricella tenuiserrata</i>	
	<i>Scolecithricella dentata</i>	
	<i>Lucicutia gemina</i>	

2° - Ensemble-espèce correspondant à la première partie de la saison froide (A2) - (axe 2 croissant, axe 1 décroissant) :

	<i>Euaetideus giesbrechti</i>	
	<i>Aetideopsis</i> sp.	
-	<i>Paivella inaciae</i>	(28)
-	<i>Paracalanus scotti</i>	(16)
-	<i>Ctenocalanus vanus</i>	(25)
-	<i>Agetus limbatus</i>	(107)
-	<i>Eucalanus monachus</i>	(7)
	<i>Diaixis hibernica</i>	
-	<i>Lucicutia flavicornis</i>	(63)
+	<i>Calanoides carinatus</i>	(2)
	<i>Pleuromamma abdominalis</i>	
	<i>Sapphirina metallina</i>	
	<i>Candacia bipinnata</i>	

‡ on notera par une croix + les espèces ayant au moins une fois un pourcentage supérieur à 3% et par un tiret - celles qui ont au moins une fois un pourcentage supérieur à 0,4% (mais inférieur à 3%). Les chiffres entre parenthèses servent de légende à la figure 6.

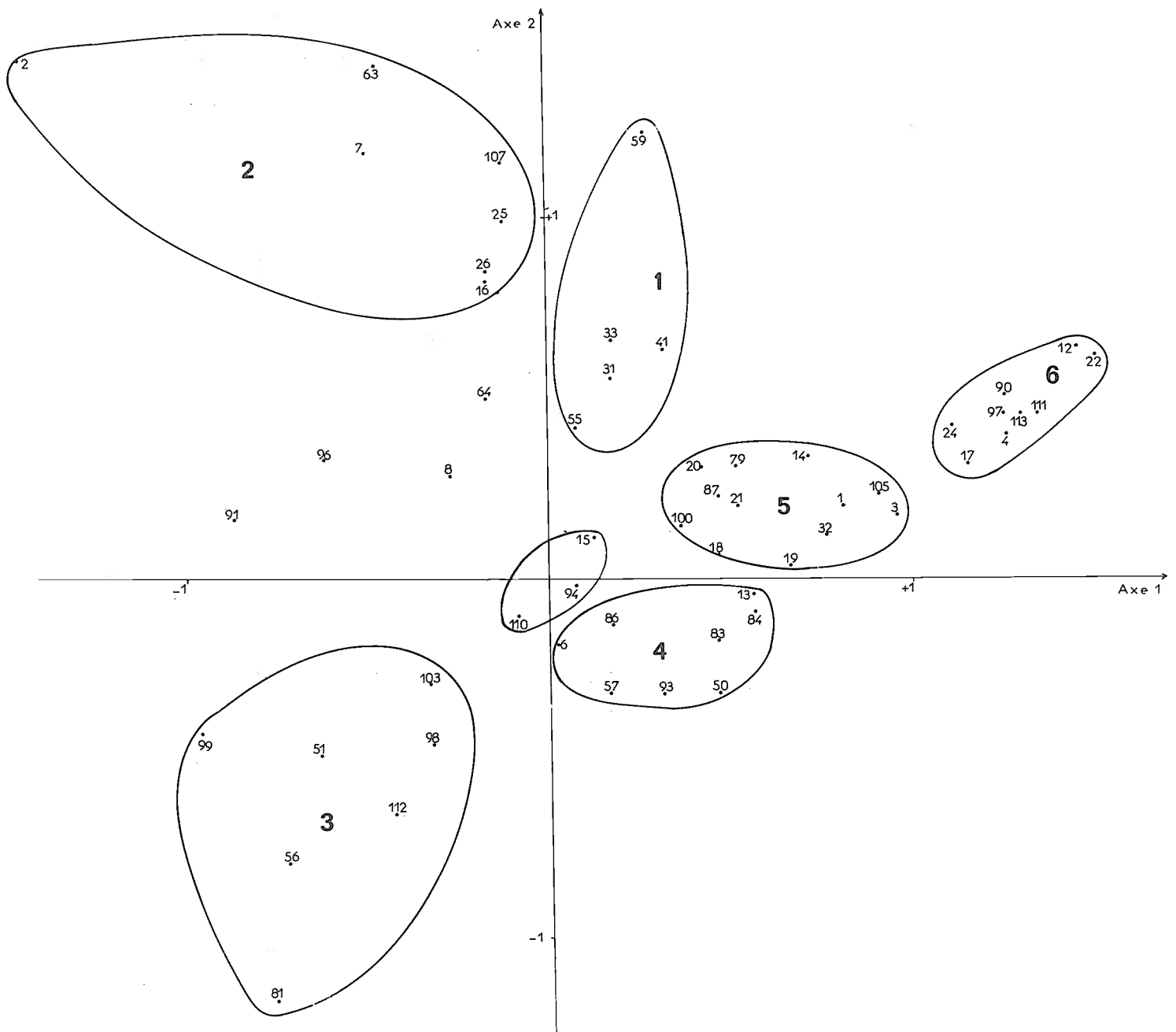


Fig. 6 - Station côtière, espèces ayant au moins une fois une fréquence supérieure à 0,4 % : espace - espèces, plan (1,2)

Petits caractères : n^{os} des espèces

Gros caractères : n^{os} des groupes

3° - Ensemble -espèces correspondant à la deuxième partie
de la saison froide (A3) (axe 2 décroissant, axe 1 décroissant) :

- Sapphirina nigromaculata	(103)
Clytemnestra sp.	
Corycella rostrata	
- Oncaea arcuata	(99)
- Oncaea conifera	(98)
+ Centropages chierchiae	(51)
+ Ditrichocorycaeus africanus	(112)
+ Temora turbinata	(56)
Acartia negligens	
- Eucalanus crassus	(8)

4° - Ensemble - espèces correspondant aux petites saison
froides et chaudes (B1 et B2) (axe 2 décroissant, axe 1 croissant) :

- Acrocalanus andersoni	(13)
+ Acartia plumosa	(86)
+ Acartia danae	(84)
- Pontellopsis brevis	(83)
+ Eucalanus pileatus	(6)
Pontella gabonensis	
Corycaeus clausi	
+ Oncaea venusta f. minor	(93)
+ Centropages furcatus	(50)
+ Temora stylifera	(57)
Sapphirina opalina-darwinii	

5° - Ensemble - espèces correspondant à des conditions moyennes
de saison chaude (C1 et C2) (axe 1 croissant, axe 2 décroissant) :

- Lubbockia squillimana	(100)
- Mecynocera clausi	(20)
- Calocalanus styliremis	(18)
+ Oithona plumifera	(87)
+ Clausocalanus jobei	(21)
+ Labidocera scotti	(79)
Candacia curta	
- Ischnocalanus plumulosus	(19)
Sapphirina ovatolanceolata gemma	
+ Paracalanus aculeatus	(14)
Oncaea venusta f. major	
- Euchaeta marina	(32)
Sapphirina angusta	

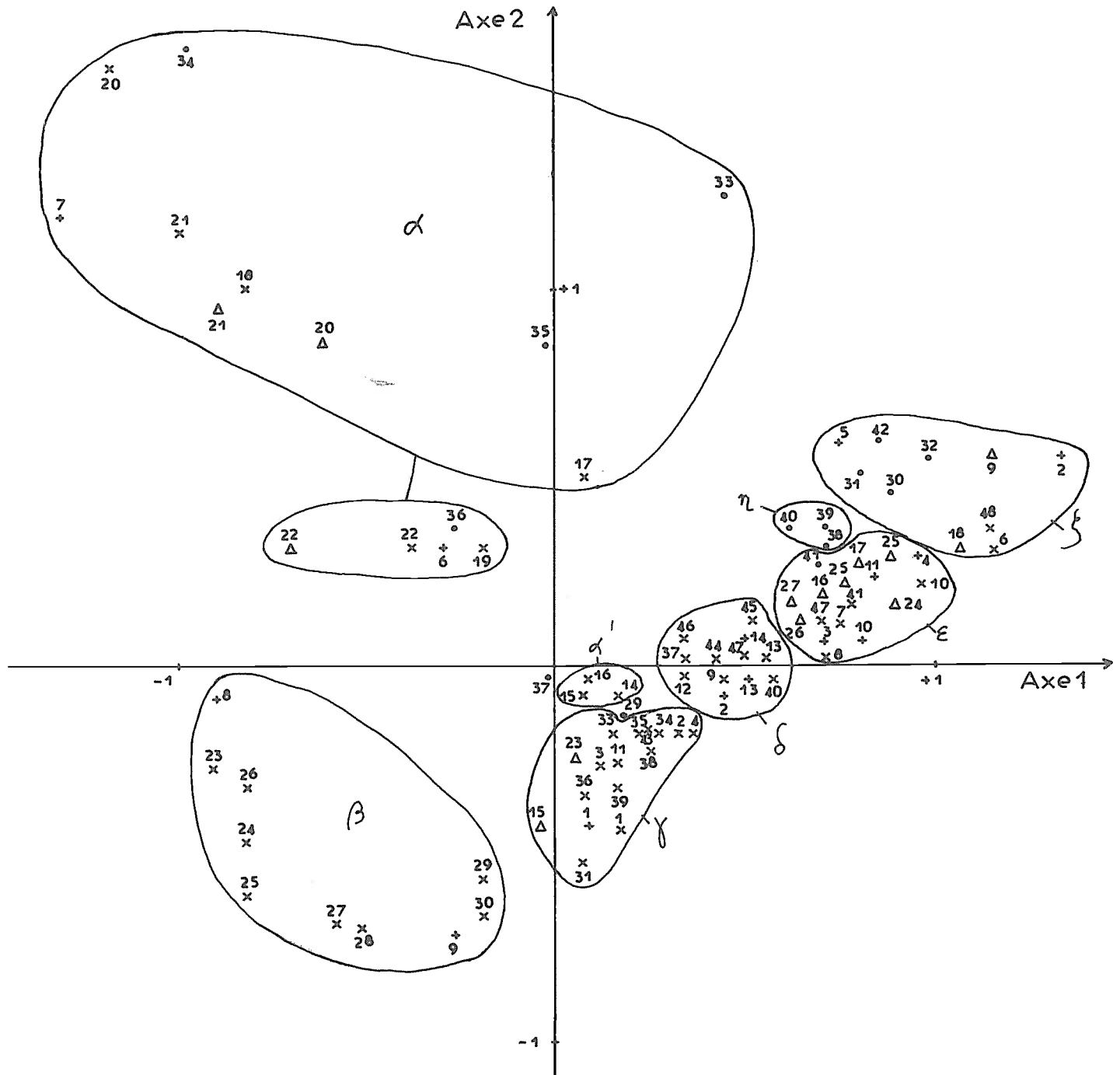


Fig. 7 - Radiale Bassam et station côtière : espace - récoltes, plan (1,2)

Station 1	:	+
Station 2	:	Δ
Station 3	:	°
Station côtière	:	x

- Nannocalanus minor	(1)
Eucalanus elongatus	
Centropages violaceus	
- Neocalanus sp.	(3)
- Corycaeus speciosus	(105)

6° - Ensemble - espèces correspondant à des eaux tropicales
(D) (axe 1 croissant, axe 2 croissant) :

- Calocalanus pavo	(17)
+ Copépodites de Clausocalanus spp.	(24)
+ Undinula vulgaris	(4)
+ Oncaea media	(97)
Copilia mirabilis	
- Macrosetella gracilis	(90)
- Onychocorycaeus latus	(111)
+ Corycella gracilis	(113)
- Acrocalanus longicornis	(12)
Miracia efferata	

Enfin, 3 espèces se situent près de l'origine, ce qui traduit leur caractère euryhalin et eurythermique, ce sont : + Paracalanus parvus (15), + Onychocorycaeus giesbrechti (110), et + Oncaea mediterranea f. minor (94) ; les deux premières étant de plus, généralement très abondantes.

5 - STATION COTIERE ET RADIALE GRAND-BASSAM, ESPACE-RECOLTE -

Une analyse portant sur l'ensemble des récoltes prélevées dans la région d'Abidjan a également été effectuée. La plus grande abondance de récoltes sur les petits fonds entraîne une plus grande inertie de ces stations, d'où une certaine distorsion des résultats.

La projection de l'espace-récoltes dans les plans des axes principaux 1, 2 et 3 permet de construire un certain nombre de groupes. Dans l'ensemble la disposition des récoltes est semblable à ce qui a été observé précédemment. On retrouve presque certains groupes (cf fig. 7).

L'ensemble des récoltes de saison froide (κ) est isolé du reste. Le début de la saison froide a, aux stations néritiques (1 et côtière), des affinités avec les stations plus océaniques (2 et 3). Au contraire à la fin de la saison froide (septembre et octobre) les stations néritiques sont très nettement individualisées (groupe β).

En effet, la faune qui envahit le plateau jusqu'à la côte, au mois de juillet, est, du fait des upwellings, la même que celle du proche large. Lorsque les remontées d'eaux se font plus rares et que le milieu se rechauffe lentement, les eaux de l'extrémité du plateau n'évoluent pas comme celles situées près de la côte.

Les récoltes de juin à la station côtière (κ') dans des eaux des-salées qui se refroidissent sont également nettement distinctes.

Les axes 1 et 2 traduisent un gradient thermique et océanique en même temps. On trouve le gradient océanique le long de la première bissectrice, le gradient thermique le long de la seconde. Aux extrémités de l'axe 3 se trouvent d'un côté les récoltes de juin à la station côtière, de l'autre des récoltes de saison chaude généralement en eaux tropicales. On peut y voir un gradient halin pour les eaux chaudes, les groupements de saison froide se trouvant entre les 2 groupes cités.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Il ressort de cette étude que les analyses les plus intéressantes sont celles qui concernent les données les plus homogènes : celles de la station côtière. Les seules causes de variation sont dues aux fluctuations saisonnières, le facteur "éloignement et la côte" étant constant. La périodicité hebdomadaire semble suffisante pour décrire ce rythme de variation.

Les récoltes des 3 stations de la radiale Bassam ajoutent aux variations saisonnières le facteur d'éloignement de la côte. Les ensembles de récolte que l'on observe seront moins homogènes, plus particulièrement durant la saison froide.

Quand à l'analyse de l'ensemble radiale Bassam-station côtière, il confirme les résultats précédents et met en évidence une opposition côte-proche large, plus particulièrement en fin de saison froide.

Une analyse regroupant les données d'un cycle annuel à Pointe-Noire avec celles-ci a également été effectuée. L'opposition entre les récoltes de Pointe-Noire et d'Abidjan ressort sur le premier axe (ainsi que les espèces caractéristiques d'Abidjan par rapport à Pointe-Noire) et sur le 2ème axe on note les opposition des saisons froides avec le reste de l'année.

Les données ne sont peut être pas assez abondantes pour interpréter simultanément des variations géographiques et saisonnières; il semble préférable de s'en tenir à une seule cause de variation.

L'intérêt principal de ce type d'analyse sur nos récoltes est :

- 1° - la démonstration de l'existence de "saison écologiques" correspondant aux saisons hydrologiques.
- 2° - la preuve que la moitié ou même le quart des espèces présentes pourrait suffire à définir le noyau d'espèces caractéristiques de chaque saison.

Peut-on pour autant, comparer les groupements d'espèces à des communautés écologiques? La notion de communauté planctonique est délicate à manier. Selon que l'on appelle "communauté" l'ensemble des espèces se trouvant en un même lieu ou se trouvant au cours d'une même saison on aboutit à 2 notions distinctes. Les groupes définis ci-dessus ont peut-être valeur de "communautés saisonnières" mais pas obligatoirement des "communautés géographiques". La "communauté" au sens de l'écologie classique (benthique ou terrestre) ne pourrait être définie que par une étude de microdistribution.

BIBLIOGRAPHIE

- BINET, D. (1970) - Aperçu sur les variations saisonnières du zooplankton et plus particulièrement des copépodes du plateau continental de Pointe-Noire (Congo). Doc. scient. Centre ORSTOM de Pointe Noire, nlle. sér., 8, 107p. multigr.
- BINET, D. et DESSIER, A. (1971) - Premières données sur les copépodes pélagiques de la région congolaise. I - Liste des espèces et notes écologiques. Cah. ORSTOM, sér. Océanogr., 9, 4.
- BINET, D., DESSIER, A., GABORIT, M. et ROUX, M. - Premières données sur les copépodes pélagiques de la région congolaise. II - Analyse des correspondances. Cah. ORSTOM sér. Océanogr., à paraître
- DENIAU, C. et LEBART, L. (1969) - Introduction à l'analyse des données (I, II,) Consommation. Ann. du CREDOC., 3, pp. 57-96
- JOSSI, J. W. (1966) - The ICITA one meter plankton net : description and evaluation. Limnol. oceanogr., 11, 4, pp. 640-642

LEBART, C. (1969) - Introduction à l'analyse des données, analyse des correspondances validité des résultats (III, IV). Consommation. Ann. du CREDOC, 4, pp. 65-87

LEBART, L. et FENELON, J. P. (1971) - Statistique et informatique appliquées, Dunod, pp. 1-426

MORLIERE, A. (1970)- Les saisons marines devant Abidjan. Doc. scient. Centre Rech. océanogr. Abidjan, 1, 2, pp. 1-15

STATION COTIERE

N°	Date	T°	S‰	N°	Date	T°	S‰
1	28.2	23.4	35.46	24	16.9	18.9	35.82
2	18.3	28.6	35.07	25	23.9	18.7	35.83
3	25.3	28.3	35.05	26	30.9	20.0	35.72
4	1.4	29.2	34.87	27	7.10	21.8	35.23
5	8.4	29.1	34.99	28	14.10	21.6	35.46
6	16.4	29.1	34.95	29	21.10	22.4	35.45
7	22.4	29.2	34.95	30	28.10	24.4	34.86
8	30.4	29.7	34.87	31	5.11	25.1	35.06
9	6.5	29.7	34.83	32	12.11	26.4	34.57
10	12.5	29.5	34.59	33	2.12	26.5	34.50
11	19.5	27.6	34.65	34	9.12	25.9	34.96
12	27.5	28.2	34.25	35	19.12	26.0	34.78
13	10.6	27.5	33.89	36	22.12	25.7	34.81
14	18.6	26.3	31.01	37	30.12	26.4	34.68
15	24.6	24.3	33.75	38	7.1	25.8	34.85
16	1.7	23.6	33.57	39	13.1	23.7	35.02
17	9.7	23.6	34.06	40	20.1	26.7	34.60
18	15.7	21.0	34.64	41	28.1	26.7	34.55
19	30.7	19.7	35.79	42	6.2	26.9	34.48
20	5.8	18.7	35.78	43	13.2	26.9	34.71
21	12.8	19.2	35.78	44	20.2	23.7	35.43
22	18.8	17.5	35.72	45	28.2	27.0	35.20(?)
23	2.9	18.6	35.78	46	10.3	22.1	35.57
				47	17.3	24.9	35.42
				48	24.3	27.6	35.14

SOMMAIRE

INTRODUCTION

- Origine du matériel
- Analyse des correspondances

1 - INERTIE EXTRAITE PAR LES AXES PRINCIPAUX DANS LES DIFFERENTES ANALYSES -

- 1.1. - Analyses effectuées
- 1.2. - Inertie extraite par les différents axes
- 1.3. - Effet de la transformation logarithmique

2 - RADIALE BASSAM, ESPACE-RECOLTES -

- 2.1. - Groupement des récoltes dans les plans formés par les axes 1, 2, 3
- 2.2. - Contributions
- 2.3. - Signification des axes
- 2.4. - Récoltes des saisons chaudes

3 - STATIONS COTIERE, ESPACE-RECOLTES -

- 3.1. - Analyse de l'ensemble des récoltes
 - 3.1.1.- Groupement des récoltes dans les plans formés par les axes 1, 2, 3
 - 3.1.2. - Groupement des récoltes dans les plans formés par les axes 3 et 4
 - 3.1.3. - Contributionstotales
 - 3.1.4. - Signification des axes
 - 3.1.5. - Analyse des espèces principales
- 3.2. - Analyse des récoltes de saison chaudes

4 - STATION COTIERE, ESPACE-ESPECES -

5 - STATION COTIERE ET RADIALE GRAND-BASSAM, ESPACE-RECOLTES -

DISCUSSION ET CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXE : Numérotation, date et conditions hydrologiques des récoltes.